

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

PRIORITY DOCUMENT

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)



REC'D 31 AUG 2004

WIPO PCT

Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen:

103 30 179.8

Anmeldetag:

02. Juli 2003

Anmelder/Inhaber:

JENOPTIK Automatisierungstechnik GmbH,
07745 Jena/DE

Bezeichnung:

Verfahren zum Trennen flacher Werkstücke aus
Keramik

IPC:

B 23 K, C 03 B

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der
ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 20. August 2004
Deutsches Patent- und Markenamt

Der Präsident
Im Auftrag



Verfahren zum Trennen flacher Werkstücke aus Keramik

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Trennen von im Wesentlichen flachen Werkstücken aus Keramik durch thermisch induzierte Spannungen mittels Laser.

5

Beim Trennen auf der Basis thermisch induzierter Spannungen werden Spannungen durch zeitlich und örtlichen Wärmeeintrag und/oder -entzug im Material generiert, die zu einer Rissbildung führen.

- 10 Aus dem Stand der Technik sind eine Vielzahl derartiger Verfahren bekannt, die durch die verschiedensten Maßnahmen das Verfahrensergebnis, das insbesondere in einer hohen Qualität der Trennkante besteht, optimieren soll. Zwar sollen diese Verfahren in der Regel auf spröde, nichtmetallische Materialien insgesamt anwendbar sein und damit auch auf Keramik, jedoch sind die Ausführungsbeispiele auf Glas
- 15 beschränkt, was mit Blick auf die nachfolgenden Erläuterungen verständlich wird.

- Vermutlich wird das Trennen von Glas durch thermisch induzierte Spannungen das erste Mal in dem 1964 angemeldeten Patent DE 1244246 erwähnt. Ein Laserstrahl wird mit einem geringen Strahlquerschnitt und damit einer hohen Energiedichte über
- 20 die Oberfläche eines mit einer strahlungsabsorbierenden Schicht versehenen Flachglases geführt (Laserlinie), infolge dessen es durch Wärmeleitung zu einer Erwärmung des Glases von der Oberfläche her entlang der Laserlinie kommt. Es wurde erkannt, dass es hierbei nicht auf den absoluten Wert der Erhitzung des Glases ankommt, sondern auf den Temperaturgradienten im Glas quer zur Laserlinie, der insbesondere durch eine der Erwärmung folgende Kühlung erzielbar ist. Es wurde
- 25 bereits damals festgestellt, dass es zur Ausbildung des erforderlichen Temperaturgradienten nicht erforderlich ist, das Glas bis auf seine Schmelztemperatur zu erhitzen und dass die Trennfläche infolge eines Thermorisses gegenüber der durch Aufschmelzen des Glases eine andere ist.

30

Spätere Veröffentlichungen beschäftigen sich mit der Optimierung dieses Grundlagenverfahrens zur Erhöhung der Trenngeschwindigkeit, Verbesserung der

S003-10481-DE

Genauigkeit der Linienführung der Trennlinie (Trenngenauigkeit) und der Oberfläche der Trennkante (Kantenqualität).

Wie 1992 in der WO 93/20015 aufgezeigt, ist die Trenngenauigkeit bei derartigen Verfahren bis dahin aus folgenden Gründen nicht ausreichend:

Der thermische Riss beginnt an der Kante einer Glasscheibe zu einem Zeitpunkt, an dem sich der Strahlfleck bereits von der Kante entlang der Laserlinie entfernt hat. Innerhalb dieses Bereiches, zwischen der Kante der Glasscheibe und dem Strahlfleck, entsteht eine komplexe Verteilung von Wärmespannungen, die vorerst nur Druckspannungen bewirken, die jedoch noch nicht zur Ausbildung von Rissen führen. Mit dem Auftreffen des Kühlmittels, was zu einem schlagartigen Wärmeentzug führt, entstehen Zugspannungen, die nunmehr bei Überschreitung der Zugfestigkeit des Glases zur Rissbildung führen. Während des Vorrückens des Risses werden die Kanten des Materials auf beiden Seiten des Risses auseinander gedrückt, wodurch mechanische Spannungen entstehen, welche die weitere Ausbreitung des Risses fördern. Bei Annäherung des Risses an die Begrenzung der Platte krümmt sich der Riss relativ zur Laserlinie, was in dieser Schrift durch die Asymmetrie der Wärmespannungen in der Glasplatte erklärt wird.

Eine verbesserte Trenngenauigkeit und Trenngeschwindigkeit verspricht die Auswahl bestimmter Verfahrensparameter entsprechend einer in der WO 93/20015 aufgezeigten Gleichung, nach der ein Blindriss spezifischer Richtung und Tiefe entstehen soll. Nach dieser Gleichung wird die Relativgeschwindigkeit gewählt, abhängig von der Länge und Breite eines elliptischen Strahlquerschnittes, wie er aus SU-A-1231813 bekannt ist, einem Proportionalitätsfaktor, der von den thermophysikalischen und mechanischen Eigenschaften des Glases sowie der Strahlleistungsdichte bestimmt ist, dem Abstand Strahlfleck und Kühlzone sowie der gewünschten Risstiefe, die von der Materialdicke des Werkstückes bestimmt wird. Obwohl so nicht explizit erwähnt, dient die Parameterauswahl unter Verwendung dieser Formel letztendlich einem möglichst definierten örtlich verteiltem Einbringen von Wärmespannungen.

Spätere Patente entwickeln insbesondere die Geometrie des Strahlflecks weiter, die den Energieeintrag optimieren soll. Dabei werden die Ausführungsbeispiele jeweils an Hand von Glas erläutert.

S003-10481-DE

So wird in der WO 96/20062 anstelle einer bislang üblichen Gaußverteilung der Energiedichte im Strahlfleck eine Energiedichteverteilung vorgeschlagen, die von der Peripherie zum Zentrum hin abnimmt (elliptischer Ring). Die EP 0 872 303 schlägt eine Strahlfleckform mit einer Energiedichteverteilung entsprechend einer U- oder V-Kurve vor.

Das permanente Bestreben, entlang der Laserlinie homogene Wärmespannungen in Höhe der zulässigen Zugspannungen zu erzeugen, ist ein Indiz dafür, dass man immer davon ausgeht, dass das zu bearbeitende Material keine Eigenspannungen aufweist. Das ist in der Regel so bei amorphen Materialien wie Glas, so jedoch nicht bei Keramik.

Bei der Prozessdurchführung an Keramik muss man davon ausgehen, dass die den Prozessablauf bestimmende zeitliche und örtliche Ausbildung von Spannungen im Werkstück nicht ausschließlich durch die induzierten Wärmespannungen (Prozessspannungen) bestimmt wird. Die Eigenspannungen können je nach deren Größe und Vorzeichen die Prozessspannungen unterstützen oder denen entgegenwirken. Insbesondere wenn sich die Eigenspannungen über den Weg der gewünschten Trennlinie ändern, können die bekannten Verfahren nicht die versprochene Trennqualität erreichen, da keine Steuerung oder Regelung der Verfahrensparameter während der Prozessdurchführung stattfindet. Die beschriebenen Verfahren geben auch keinen Lösungsansatz für das eingangs beschriebene Problem des Krümmens der Trennlinie zur Laserlinie hin am Werkstückende.

Neben dem außer acht lassen der Eigenspannungen bei den bekannten Verfahren, die in der Regel angeblich für alle nichtmetallisch spröden Werkstoffe anwendbar sind, ist die Notwendigkeit des Initialrisses ein weiterer Hinweis, dass diese Verfahren eigentlich nicht für Keramik geeignet sind.

Beispielsweise wird für das in der WO 96/20062 beschriebene Verfahren vorgeschlagen, einen Anschnitt (Initialriss) an der Oberfläche des Materials entlang der gewünschten Trennlinie aufzutragen, bevor der bestrahlte Abschnitt gekühlt

wird. Zwar sei der Anschnitt in der Technik nicht neu und würde häufig bei thermischen Schneidverfahren von Platten praktiziert, jedoch ergäbe sich im Zusammenhang mit dem aufgezeigten Verfahren ein neuer Effekt, nämlich eine sehr präzise Schnittführung und hochwertige Qualität der Kanten. Auch in der EP 0448168, der WO02/48059 und der DE 19955824 wird der Initialriss als wesentliches Merkmal genannt.

Die Anmelderin selbst weiß aus praktischer Erfahrung, dass das Vorhandensein eines Initialrisses zum Trennen von Glas durch thermisch induzierte Spannungen zwingend notwendig ist. Dass ein solcher Initialriss als notwendige Voraussetzung in den Verfahrensbeschreibungen nicht in jedem Fall erwähnt wird und auch nicht in jedem Fall gesetzt wird, ist darauf zurückzuführen, dass man praktisch beginnt, von einer mechanisch geschnittenen Kante aus zu trennen, die grundsätzlich eine Vielzahl von Mikrorissen aufweist. Einer dieser Mikrorisse dient dann als Initialriss. Setzt man jedoch dann einen zweiten Trennschnitt an dieser mit Laser geschnittenen Trennkante an, kommt es anstelle der gewünschten gerichteten Rissbildung zu einer unkontrollierten wilden Rissbildung und damit Zerstörung des Bauteils, was darauf zurückzuführen ist, dass diese Kante keine Mikrorisse aufweist, die als Initialriss dienen können. Ganz deutlich wird die Notwendigkeit des Initialrisses in der DE 100 41 519 gezeigt, die ein Verfahren zum Trennen einer Flachglasscheibe in mehrere Rechteckplatten offenbart. Hier wird deutlich, dass es dem Fachmann bekannt ist, dass er zum Trennen von Glasplatten, ausgehend von einer Trennkante entstanden durch thermisch induzierte Spannungen, zwingend einen Initialriss benötigt.

Es ist die Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren auf Basis des Trennens von Material mittels thermisch induzierten Spannungen, die zu einer Rissausbildung entlang der Trennlinie führen, so zu verbessern, dass es auf flache Werkstücke aus Keramik angewendet eine hohe Trenngenauigkeit und Kantenqualität liefert.

Es ist weiterhin Aufgabe der Erfindung, ein solches Verfahren so zu verbessern, dass es auf unter Eigenspannung stehende flache Werkstücke aus Glas angewendet eine hohe Trenngenauigkeit und Kantenqualität liefert.

Die Aufgabe der Erfindung wird für ein Verfahren zum Trennen eines flachen Werkstückes aus Keramik mit den Merkmalen des Anspruchs 1 und für ein mit Spannungen behaftetes Werkstück aus Glas mit den Merkmalen des Anspruchs 2 gelöst.

5

Vorteilhafte Ausführungsformen sind in den Unteransprüchen beschrieben.

10

Bei der Herstellung keramischer Werkstücke treten in den verschiedenen Produktionsstufen, bei der Nachbehandlung oder der Montage grundsätzlich mechanische Spannungen auf. Insbesondere bei ungleichmäßiger Erwärmung oder Abkühlung (z.B. Abkühlung nach dem keramischen Brand, thermische Nachbehandlungen zur Oberflächenbehandlung oder zum Aufbringen von Schichten) treten infolge der damit verbundenen ungleichmäßigen elastischen und bleibenden Formveränderungen Spannungen auf. Diese lassen sich insbesondere erklären durch

15 den unterschiedlichen Wärmeausdehnungskoeffizienten der keramischen Körnung (Scherben) und der Schmelzphase (Verunreinigungen) und der damit verbundenen unterschiedlichen Ausdehnung des Gefügebauaufbaus sowie unterschiedlicher Wärmeausdehnungskoeffizienten zwischen der Keramik (keramische Körnung und Verunreinigungen) und einem Beschichtungsmaterial. Darüber hinaus können

20 zusätzliche Eigenspannungen in das Material eingebracht worden sein durch starke mechanische Kräfte bei der Formgebung oder eine mechanische Bearbeitung des Werkstückes, wie das mechanische Schneiden der Kanten.

Die Eigenspannungen kann man im Allgemeinen nicht berechnen, jedoch experimentell bestimmen.

25

Es ist erfindungswesentlich, dass vor Beginn des Trennprozesses die Eigenspannungen des Werkstückes entlang der gewünschten Trennlinie erfasst werden. Primär erfolgt diese Erfassung messtechnisch. Sekundär kann nach einer Vielzahl von Vermessungen und Zuordnung der Messergebnisse zu einer jeweiligen

30 Oberflächenkrümmung des Werkstückes entlang der gewünschten Trennlinie auch durch visuellen Vergleich der Krümmungen der Werkstücke rückwirkend auf die Eigenspannungen geschlossen werden.

Die Eigenspannungsmessung sollte vorteilhafterweise an zwei Proben einer Werkstückcharge durchgeführt werden, wobei die Erfassung an der zweiten Probe dazu dient, die Ergebnisse der ersten Probe zu bestätigen. Sind die Ergebnisse innerhalb der vorgegebenen Toleranzgrenzen gleich, kann man davon ausgehen, dass auch die anderen Werkstücke dieser Charge einen vergleichbaren Spannungsverlauf entlang der Trennlinie aufweisen. Unter Werkstücke einer Charge sollen solche Werkstücke verstanden werden, die unter identischen Herstellungsbedingungen und gegebenenfalls Bearbeitungsbedingungen hergestellt und bearbeitet wurden und die die gleichen Abmessungen, insbesondere die gleiche Materialdicke aufweisen.

Um qualitativ hochwertige Trennkanten zu erzielen, d.h. ohne Mikrorisse und Ausmuschelungen ist es wichtig, dass die eingebrachten Spannungen (Prozessspannungen) in Summe mit den Eigenspannungen nicht über dem Bereich der kritischen Bruchspannungen liegen. Nun können zwar die Eigenspannungen der zu trennenden Keramikplatte entlang der gewünschten Trennlinie messtechnisch ermittelt werden und die zulässigen Bruchspannungen sind in der Regel vom Hersteller zu erfahren, jedoch können die sich daraus ergebenden Prozessspannungen, als Funktion des Weges über die Laserlinie nicht trivial eingestellt werden.

Vielmehr sind die Prozessspannungen (Wärmespannungen) eine Funktion von einer Vielzahl von Prozess- und Materialparametern, nämlich:

- Leistung (und Leistungsdichte) der Laserstrahlung
- Form und Fläche des Strahlquerschnitts
- Relativgeschwindigkeit zwischen Strahlfleck und Werkstück
- Materialeigenschaften des Werkstoffes, insbesondere wärmephysikalische
- Wärmephysikalische Eigenschaften des Kühlmittels
- Form und Fläche des Kühlquerschnitts sowie Abstand zum Strahlquerschnitt

Auch die Prozessspannungen sind rechnerisch nicht ermittelbar. Es bleibt daher nur die Möglichkeit, über eine Vielzahl von Versuchen Parameterkombinationen zu ermitteln, die bei den unterschiedlichsten Werten der Eigenspannung zu einer

S003-10481-DE

akzeptablen Oberflächenqualität der Trennkante führen. Geeignete Parameterkombinationen können dann als ein Prozessspannungswert interpretiert werden, der in Summe mit einer jeweiligen Eigenspannung die zulässige Bruchspannung ergibt.

5

Bei gegebenen Materialeigenschaften des Werkstoffes, den ebenfalls innerhalb eines Trennprozesses nicht veränderbaren Eigenschaften des Kühlmittels sowie der nur schwerlich während des Prozesses veränderbaren Strahl- und Kühlmittelquerschnitte bleiben für eine experimentelle Variation insbesondere die Leistung der Laserstrahlung und die Relativgeschwindigkeit. Um hier einen Spielraum zu haben, ohne dass es auf Grund zu hoher Energieeinträge infolge hoher Strahlungsleistungen bzw. zu geringer Geschwindigkeit zu Materialerhitzungen kommt, die zum Schmelzen der Verunreinigungen führen, müssen die für den Prozess festen Parameter entsprechend ausgewählt werden.

10

15

Die grundsätzliche Beachtung der Eigenspannungen bei der Prozessdurchführung eröffnen nicht nur die Möglichkeit einer reproduzierbaren Trennung von mit Eigenspannungen behafteten Werkstücken, sondern auch ein gezieltes Einbringen von mechanischen Spannungen zur Unterstützung des Trennprozesses. So können z.B. nichtoxidische Keramiken, in die auf Grund der hohen Wärmeleitfähigkeit nur schwer thermische Spannungen induziert werden können, während des Trennprozesses mechanisch so vorgespannt werden, dass der Eintrag nur noch geringer Wärmespannungen bereits zur Rissbildung führt.

20

25

Auch kann über die Kenntnis der Eigenspannungen entschieden werden, von welcher der beiden Oberflächen des flachen Werkstückes aus der Trennprozess eingeleitet wird, damit die Eigenspannungen den Prozessspannungen möglichst nicht entgegenwirken.

30

Besonders dünne Werkstücke werden vorteilhaft auf der Werkstückauflage fixiert vermessend, die auch zum nachfolgenden Trennprozess als Auflage dient. Dadurch werden auch die durch eine Verspannung infolge der Fixierung auf der Auflage entstehenden Eigenspannungen mit erfasst.

Das gezielte Einbringen eines Initialrisses ist für das Trennen eines Werkstückes aus Keramik überflüssig. Wie eine Vielzahl von Erprobungen gezeigt haben, beginnt die Rissausbildung stets entlang der Korngrenzen, an denen sich auf Grund des unterschiedlichen Ausdehnungskoeffizienten der Keramik kristalle und der diese umschließenden Schmelzphase bei der Herstellung und der Wiedererwärmung Spannungsmaxima ausbilden. Der Riss breitet sich dann entlang der Korngrenzen im Bereich der Laserlinie (Linie, die der Strahlungsfleck überstreicht) aus. Im Unterschied zum Glastrennen, bei dem die Breite des Strahlungsfleckes ausschließlich gewählt wird, um eine bestimmte Energiedichte zu erzeugen, ist eine Optimierung der Strahlfleckbreite (Strahlfleckausdehnung senkrecht zur Bewegungsrichtung) in Abhängigkeit von der Korngröße der Keramik für die Qualität der Trennkante mitbestimmend. Dabei soll die Strahlfleckbreite mindestens die Breite der größten Korndurchmesser (im Falle einer Al_2O_3 -Keramik größer 0,1 mm) aufweisen.

15

Patentansprüche

1. Verfahren zum Trennen flacher Werkstücke aus Keramik durch Provokation eines Trennrisses in Folge von Thermospannungen, die durch einen zeitlichen und örtlichen Wärmeeintrag mittels Laser entlang einer gewünschten Trennlinie und einen diesem nachlaufenden zeitlich und örtlichen Wärmeentzug mittels eines Kühlmittels entstehen, dadurch gekennzeichnet, dass vor Beginn des Trennprozesses die Eigenspannungen des Werkstückes entlang der gewünschten Trennlinie erfasst werden und die Prozessparameter in Abhängigkeit von den Eigenspannungen gesteuert werden und dass diese Eigenspannungen als Ursprung für die Rissausbildung dienen, wodurch ohne Einbringung eines Initialrisses auch von mikrorissfreien Kanten aus der Trennritt eingeleitet werden kann.
2. Verfahren zum Trennen eines unter Eigenspannung stehenden flachen Werkstückes aus Glas durch Provokation eines Trennrisses ausgehend von einem Initialriss und in Folge von Thermospannungen, die durch einen zeitlichen und örtlichen Wärmeeintrag mittels Laser entlang einer gewünschten Trennlinie und einen diesem nachlaufenden zeitlich und örtlichen Wärmeentzug mittels eines Kühlmittels entstehen, dadurch gekennzeichnet, dass vor Beginn des Trennprozesses die Eigenspannungen des Werkstückes ortsabhängig entlang der gewünschten Trennlinie erfasst werden und die Prozessparameter in Abhängigkeit von den Eigenspannungen ortsabhängig gesteuert werden.
3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Erfassung der Eigenspannungen an zwei Werkstücken (Proben) einer Werkstückcharge erfolgt, die Ergebnisse verglichen werden und diese auf die anderen Werkstücke der Charge interpretiert werden, sofern die Abweichungen der Ergebnisse innerhalb vorgegebener Toleranzgrenzen liegen.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Leistung des Lasers über die Dauer des Trennprozesses gesteuert wird.

S003-10481-DE

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Relativgeschwindigkeit des Lasers zum Werkstück über die Dauer des Trennprozesses gesteuert wird.

5

6. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass in Kenntnis der Eigenspannungen das Werkstück von der Oberfläche aus bearbeitet wird, an der die Eigenspannungen die Prozessspannungen unterstützen.

10

7. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass das Werkstück unter Vorspannung auf einer Werkstückauflage gehalten wird, um damit zusätzlich die Prozessspannungen stützenden Eigenspannungen zu erzeugen.

15

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass das Werkstück zur Vermessung der Eigenspannung auf der Werkstückauflage fixiert ist, auf dem das Werkstück auch während des Trennprozesses und in gleicher Weise gehalten wird.

20

Zusammenfassung

5 Verfahren zum Trennen eines flachen Werkstückes aus Keramik, bei dem die zur Ausbildung eines Trennrisses erforderlichen Bruchspannungen durch thermisch induzierte Spannungen erzeugt werden, wobei vor Beginn des Trennprozesses die Eigenspannungen des Werkstückes entlang der gewünschten Trennlinie erfasst werden und wenigstens einer der Prozessparameter in Abhängigkeit der erfassten Eigenspannungen gesteuert wird.

10 Das Verfahren ist auch auf flache, unter Eigenspannungen stehende Werkstücke aus Glas anwendbar.